Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 14, No. 3, Fall 2022, p. 509-529

Application of Multivariate Statistical Techniques for Determining Affecting Factors in Water Use Efficiency of Maize (*Zea mays* L.) under Conditions of Simultaneous Application of Nitrogen and Eco-friendly Inputs

M. Jahan[1], M.B. Amiri[2*], M. Salehabadi[3], N. Naseri[3] and S. Abbasi[4]

Received: 05-08-2020 Revised: 07-06-2021 Accepted: 07-06-2021 Available Online: 13-12-2022	**How to cite this article:** Jahan, M., Amiri, M.B., Salehabadi, M., Naseri, N., and Abbasi, S., 2022. Application of multivariate statistical techniques for determining affecting factors in water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) under conditions of simultaneous application of nitrogen and eco-friendly inputs. Journal of Agroecology 14(3): 509-529. DOI: 10.22067/agry.2021.67224.0

Introduction

Water stress is one of the most important factors in reducing the yield of agricultural products worldwide. If the stress is intensive and continuous, plant growth and productivity are severely diminished.

Water superabsorbent polymer can absorb and retain extremely large amounts of a liquid relative to its own mass. They have a wide range of applications because of their high water-absorbing capacity, biodegradability, and low cost. Humic acid is an organic compound that is derived from the decomposition of organic matter and contains carbon, hydrogen, oxygen, and nitrogen. This acid plays a key role in increasing the fertility of the soil and feeding the plant when added to the plant, it helps to increase its growth through its effect on photosynthesis, and respiration increases the plant's resistance to harsh environmental conditions and stimulates many of the vital interactions within the plant. Salicylic acid, a naturally occurring plant hormone, acts as an important signaling molecule and enhances the tolerance of treated plants against biotic stresses. Salicylic acid also has a vital role in plant growth, ion uptake, and nutrient transport within the plant. Factor analysis is a technique that is used to reduce a large number of variables into fewer numbers of factors. This technique extracts the maximum common variance from all variables and puts them into a common score.

Materials and Methods

In order to evaluate the effects of different irrigation levels and nutritional treatments and determine factors affecting the water use efficiency of maize (*Zea mays* L.), a split plots experiment based on RCBD design with three replications was conducted during the 2015-16 growing season, at Research Field of Ferdowsi University of Mashhad, Iran. Irrigation levels in two levels (50 and 100% of water requirement) and nutritional treatments in five levels (1- Nitrogen+Superabsorbent, 2- Superabsorbent+Humic acid+Salicylic acid, 3- Humic acid+Salicylic acid+Nitrogen, 4- Humic acid+ Salicylic acid+Nitrogen+Superabsorbent and 5- Control) assigned to main and subplots, respectively.

Results and Discussion

1- Proffessor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2 and 3- Assistant Professor and B. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Gonabad, Gonabad, Iran.
4-M.Sc. Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

The results showed that all of the nutritional treatments affected water use efficiency, but in both conditions of 50 and 100% of water requirement, the highest water use efficiency was obtained in the treatment of Humic acid+Salicylic acid+Nitrogen+Superabsorbent. The highest seed yield (17542 $kg.ha^{-1}$) was observed in the treatment of nitrogen+superabsorbent+humic acid+Salicylic acid and supplied 100% of the water requirement and the lowest seed yield (12515 $kg.ha^{-1}$) was obtained in the treatment of control and supply 50% of water requirement. Factor analysis results showed that variables were analyzed to two factors. The first factor included 51% of variables variance, respectively. The first factor included variables of seed yield, biological yield, plant height, leaf area index, crop growth rate, soil nitrogen, phosphorous, and pH, and variables of seed weight per plant, soil EC and water use efficiency were in the second factor. In the first factor, important variables such as soil nitrogen, and phosphorous were included, so this factor describe soil conditions and second factor which had the highest impact on water use efficiency was called as water use efficiency factor. It has been reported that application of water superabsorbent increased seed yield of maize compared to control. In another research, the highest seed yield of maize obtained in treatment of simultaneous application of 120 $kg.ha^{-1}$ water superabsorbent and 8 $kg.ha^{-1}$ humic acid. Application of salicylic acid and humic acid enhanced seed yield of maize 24.5 and 24.2% compared to control, respectively.

Conclusion

In general, based on the results of this research, it seems the simultaneous application of nitrogen and ecological inputs can improve yield, growth characteristics, and water use efficiency. Factor analysis and high correlation among variables in the same group showed that the change of variables that are in the same group of water use efficiency, can increase water use efficiency and decrease damages of drought stress.

Acknowledgments

This study was financially supported by the Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Keywords: Drought Stress, Factor Analysis, Humic Acid, Salicylic Acid, Superabsorbent

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره در تعیین عوامل مؤثر بر کارآیی مصرف آب ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) در شرایط کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار

محسن جهان[1]، محمد بهزاد امیری[2]*، میلاد صالح‌آبادی[3]، نگار ناصری[3] و صدیقه عباسی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷

جهان، م.، بهزاد امیری، م.، صالح‌آبادی، م.، ناصری، ن.، و عباسی، ص.، ۱۴۰۱. استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره در تعیین عوامل مؤثر بر کارآیی مصرف آب ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) در شرایط کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۳): ۵۲۹-۵۰۹.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار در سطوح مختلف آبیاری و تعیین عامل‌های مؤثر بر کارآیی مصرف آب ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.)، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۵- ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. سطوح آبیاری در دو سطح (۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) در کرت‌های اصلی و تیمارهای تغذیه‌ای در پنج سطح (۱- نیتروژن خالص + سوپرجاذب رطوبت، ۲- سوپرجاذب رطوبت + هیومیک اسید + سالیسیلیک اسید، ۳- هیومیک اسید + سالیسیلیک اسید + نیتروژن خالص، ۴- هیومیک اسید + سالیسیلیک اسید + نیتروژن خالص + سوپرجاذب رطوبت و ۵- شاهد) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج آزمایش نشان داد که اگر چه کاربرد کلیه تیمارهای تغذیه‌ای در بهبود کارآیی مصرف آب مؤثر بود، ولی در هر دو شرایط ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین کارآیی مصرف آب در تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید به‌دست آمد. بیشترین عملکرد دانه (۱۷۵۴۲ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین عملکرد دانه (۱۲۵۱۵ کیلوگرم در هکتار) در شاهد و تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد. با توجه به نتایج تجزیه عاملی، متغیرها به دو عامل تجزیه شدند. عامل اول ۵۹ درصد از واریانس متغیرها را تبیین کرد. متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و نیتروژن، فسفر و پی‌اچ خاک روی عامل اول و متغیرهای وزن دانه در بوته، شوری خاک و کارآیی مصرف آب روی عامل دوم بیشترین بار را داشتند. در عامل اول، متغیرهای مهمی نظیر عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک و خصوصیات رشدی قرار گرفتند، بنابراین می‌توان این عامل را توصیف‌کننده عملکرد و عامل دوم که دارای بیشترین بار روی کارآیی مصرف آب بود، عامل کارآیی مصرف آب نامید. به‌طور کلی، با توجه به یافته‌های این پژوهش، به‌نظر می‌رسد که کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار ضمن بهبود عملکرد و خصوصیات رشدی گیاه، می‌تواند کارآیی مصرف آب را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل عاملی، تنش خشکی، سالیسیلیک اسید، سوپرجاذب، هیومیک اسید

۱- دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲- استادیار مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران.
۳- دانش‌آموخته کارشناسی مهندسی تولیدات گیاهی مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران.
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: amiri@gonabad.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.67224.0

مقدمه

دسترسی ناکافی به آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، افزایش کارایی مصرف آب را به‌عنوان یکی از محورهای اصلی کشاورزی پایدار در این مناطق مطرح کرده است. تنش آب از یک‌سو، خصوصیات کمّی و کیفی گیاه را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر، به‌دلیل بالا بودن قیمت آب، خرید آب برای کشاورزان را به یک معضل بزرگ تبدیل کرده است. از این رو، در سال‌های اخیر تلاش‌های فراوانی به‌منظور افزایش کارایی مصرف آب صورت گرفته است، که در این مسیر، بهره‌گیری از سوپرجاذب‌ها و محلول‌پاشی نهاده‌های بوم‌سازگاری نظیر هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید به‌عنوان راهکارهای اساسی جهت صرفه‌جویی و استفاده‌ی بهینه‌ی آب مدنظر قرار گرفته‌اند (Islam et al., 2011).

سوپرجاذب‌ها از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و ساختمان خاک (Chu et al., 2006)، افزایش جوانه‌زنی و سبز شدن بذر (EneJi et al., 2013)، کاهش نیاز آبی گیاه (Xie et al., 2011) و کاهش میزان تبخیر از سطح خاک (Nykanen et al., 2011)، منجر به بهبود خصوصیات کمّی و کیفی محصولات مختلف می‌شوند. با بررسی اثر سطوح مختلف سوپرجاذب بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) گزارش شد (Karimi & Naderi, 2007) که با افزایش مقادیر مصرفی سوپرجاذب، عملکرد دانه و علوفه ذرت به‌میزان قابل‌توجهی در مقایسه با شاهد افزایش یافت. در پژوهشی دیگر گزارش شد که کاربرد سوپرجاذب ضمن کاهش تنش خشکی در ذرت، منجر به افزایش ۱۶ درصدی عملکرد این گیاه شد (Khadem et al., 2011). اثر پلیمر سوپرجاذب در ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۳ نشان داد که مصرف این نهاده باعث صرفه‌جویی در آب آبیاری به‌میزان ۱۳/۴ درصد در طول دوره رشد گردید (Aghayari et al., 2016). کاربرد سوپرجاذب رطوبت عملکرد دانه ذرت را در سطح آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ۳۸ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (Hassanzadeh & Farajzadeh Memari Tabrizi, 2016).

ماده آلی خاک شامل دو گروه بزرگ از ترکیبات هیومیکی و غیرهیومیکی است. به‌نظر می‌رسد، مواد هیومیکی بیشتر شامل مواد آلی کربنی در سطح زمین باشد و در آب، خاک، دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها وجود دارند. این مواد، محدود به اکوسیستم خاک و شرایط آب و هوایی نمی‌شوند و شامل یک بنیان هتروژنی تیره‌رنگ، غیرمتبلور (بی‌شکل) همراه با موادی با وزن مولکولی بالا می‌باشند (Rentato et al., 2003). مواد هیومیکی، به‌وسیله نیروهای ضعیف به هم بانده شده‌اند تا ثبات شیمیایی بیشتری از خود نشان دهند. این مواد نسبت به مواد غیرهیومیکی، کمتر در دسترس موجودات زنده هستند. مواد هیومیکی بین ۶۵ تا ۸۰ درصد کل مواد آلی خاک را تشکیل می‌دهند (Piccolo et al., 1992). کودهای هیومیکی با اکثر کودهای شیمیایی سازگار بوده و قابل اختلاط می‌باشند، در آب به‌خوبی حل شده و می‌توان آن‌ها را از طریق محلول‌پاشی، مصرف خاکی و سیستم‌های آبیاری تحت فشار مورد استفاده قرار داد. شریف و همکاران (Sharif et al., 2002) گزارش کردند که کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم هیومیک اسید بر کیلوگرم خاک در ذرت، افزایش وزن خشک ریشه و ساقه و افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن خاک و نیتروژن ذخیره شده گیاه را نسبت به شاهد به همراه داشت. بررسی اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت و هیومیک اسید در شرایط کم‌آبیاری در ذرت نشان داد که بیشترین عملکرد دانه زمانی حاصل شد که به‌ترتیب از ۱۲۰ و ۸ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت و هیومیک اسید استفاده شد و در هر نوبت آبیاری ۳۰۰ مترمکعب در هکتار آب در اختیار گیاه قرار گرفت و بیشترین تأثیرگذاری هیومیک اسید در بهبود عملکرد ماده خشک در تیمار ۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (Jahan et al., 2017). در پژوهشی دیگر، اثر محلول‌پاشی هیومیک اسید در جذب عناصر غذایی گندم (*Triticum aestivum* L.) بررسی و گزارش شد که هیومیک اسید به‌طور معنی‌داری جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم را افزایش داد (Shaban, 2009).

سالیسیلیک اسید یا اورتوهیدروکسی بنزوئیک اسید متعلق به گروهی از ترکیبات فنلی است که به‌طور وسیعی در گیاهان وجود دارد و امروزه به‌عنوان ماده‌ی شبه‌هورمونی به‌شمار می‌رود (Kang & Wang, 2003). این اسید در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نظیر افزایش میزان فتوسنتز و محتوای کلروفیل، بسته شدن روزنه‌ها، جذب یون‌ها، جلوگیری از بیوسنتز اتیلن، کاهش تنفس و افزایش مقاومت به تنش، نقش ایفا می‌کند (El-Tayeb, 2005). در پژوهشی، تأثیر تنش کم‌آبی و کاربرد هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت نشان داد که

کاربرد هیومیک اسید، سالیسیلیک اسید و مصرف توأم هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید به‌ترتیب افزایش معنی‌دار ۷/۵، ۷/۷ و ۸/۹ درصدی شاخص کلروفیل، ۲۲/۵، ۲۲/۶ و ۲۰/۷ درصدی وزن هزار دانه و ۲۶/۵، ۱۸/۵ و ۲۱/۷ درصدی عملکرد دانه را نسبت به شاهد سبب شد (Ragh Ara & Moosavi, 2018). در پژوهشی دیگر، اثر سالیسیلیک اسید بر رشد و عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش خشکی بررسی و گزارش شد که سالیسیلیک اسید در هر دو شرایط تنش و غیرتنش منجر به افزایش عملکرد دانه شد (Mehrabian Moghaddam et al., 2011). کاربرد سالیسیلیک اسید و هیومیک اسید در ذرت به‌ترتیب افزایش ۶۱/۲ و ۳۹/۳ درصدی محتوای نسبی آب برگ، ۱۳/۱ و ۲۳/۷ درصدی وزن بلال و ۲۴/۵ و ۲۴/۲ درصدی عملکرد را در پی داشت (Dehghanzadeh Jazi & Adavi, 2019).

تحلیل عاملی یکی از روش‌های پیشرفته آماری است که بر مبنای آن متغیرها به‌گونه‌ای دسته‌بندی می‌شوند که در نهایت، به دو یا چند عامل که همان مجموعه متغیرها هستند، محدود می‌گردند، بنابراین هر عامل را می‌توان متغیری ساختگی یا فرضی در نظر گرفت که از ترکیب چند متغیر که از وجوهی به هم شباهت دارند، ساخته شده است. عامل متغیر جدیدی است که از طریق ترکیب خطی مقادیر اصلی متغیرهای مشاهده شده برآورد می‌شود. داده‌های اولیه برای تحلیل عاملی، ماتریس همبستگی بین متغیرها است و متغیرهای وابسته از پیش تعیین شده‌ای ندارد. یکی از بیشترین کاربردهای تحلیل عاملی، کاهش داده‌ها در انجام پژوهش است، چرا که در برخی از پژوهش‌ها وجود متغیر زیاد انجام تحلیل نهایی را دچار مشکل می‌کند (Mansourfar, 2012).

با توجه به کمبود فعلی فزاینده آب و نظر به اهمیت استفاده از نهاده‌های بوم‌سازگار در افزایش بهره‌وری آب و انجام مطالعات اندک در زمینه استفاده از تکنیک‌های آماری در شناسایی عوامل مؤثر در کارآیی مصرف آب، این پژوهش با هدف استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی در تعیین عوامل مؤثر بر کارآیی مصرف آب ذرت در شرایط کاربرد همزمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار انجام شد. لازم به ذکر است، اثرات مثبت و منفی کودهای شیمیایی و به‌ویژه کود نیتروژن در ذرت در پژوهش‌های دیگری مطالعه شده است (Ahmadi et al., 2018; Heidaripour et al., 2017)، ولی در این پژوهش، هدف بررسی کاربرد همزمان کود شیمیایی نیتروژن و نهاده‌هایی همچون سوپرجاذب رطوبت، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (طول جغرافیایی ۲۸' ۵۹° شرقی و عرض جغرافیایی ۱۵' ۳۶° شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) در زمینی به مساحت حدود ۱۰۰۰ مترمربع به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. سطوح آبیاری (۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاهان مورد آزمایش) در کرت‌های اصلی و تیمارهای تغذیه‌ای (۱- کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌علاوه ۸۰ کیلوگرم سوپرجاذب رطوبت، ۲- کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت به‌علاوه کاربرد توأم شش کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید و یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید، ۳- کاربرد توأم شش کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید و یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌علاوه کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، ۴- کاربرد توأم شش کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید و یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌علاوه ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌علاوه ۸۰ کیلوگرم سوپرجاذب رطوبت و ۵- شاهد (عدم مصرف کود)) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

مقادیر هر یک از نهاده‌های مورد استفاده بر اساس نتایج برخی پژوهش‌های قبلی نگارندگان (Jahan et al., 2013; Jahan et al., 2015; Jahan et al., 2017) و بررسی منابع انجام شده (Bagheri et al., 2011; Mohammadzadeh et al., 2012; Bahrani & Babaei, 2007; Farahani et al., 2012) انتخاب شد.

ابعاد کرت‌های اصلی ۳×۶ متر و ابعاد کرت‌های فرعی ۳×۳ متر در نظر گرفته شد. قبل از انجام آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری انجام و به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۱)، ضمن اینکه با توجه به ماهیت کودی بودن تیمارهای آزمایش، برای اطمینان از اثرات خالص نهاده‌ها بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد محصول و خصوصیات مربوط به خاک، از کودهای پایه ماکرو استفاده نشد.

به‌منظور محاسبه نیاز آبی ذرت در شرایط مشهد، از نرم‌افزار OPTIWAT استفاده شد (Alizadeh & Kamali, 2008). با اطلاع از طول فصل رشد ذرت، داده‌های مربوط به تبخیر و تعرق روزانه و فاصله آبیاری هفت روز، حجم آب مورد نیاز در هر بار آبیاری در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی مقدار ۴۰۰ متر مکعب در هکتار و برای ۵۰ درصد نیاز آبی مقدار ۲۰۰ متر مکعب در هکتار محاسبه شد.

جدول ۱- خصوصیات خاک، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید مورد استفاده

Table 1- Characteristics of used soil, superabsorbent, humic acid and salicylic acid

خصوصیات سالیسیلیک اسید مورد استفاده Characteristics of used salicylic acid		خصوصیات هیومیک اسید مورد استفاده Characteristics of used humic acid		خصوصیات سوپرجاذب مورد استفاده Characteristics of used polymer super absorbent		خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک Physicochemical characteristics of soil	
$C_7H_6O_3$	**فرمول شیمیایی Chemical formula**	**پوهوموس ۸۵ درصد WGS 85%**	**نام تجاری Trade name**	**پودر سفید رنگ White powder**	**ظاهر Appearance**	**لوم سیلتی Silty loam**	**بافت خاک Soil texture**
138	جرم مولی Molar mass	85	هیومیک اسید Humic acid (%)	کمتر از ۵ Less than 5	مقدار رطوبت Moisture content	0.076	نیتروژن کل Total N (%)
1.4	چگالی Density	12	اکسید پتاسیم Potassium oxid (%)	0	بو و سمیت Odor and toxicity	11.9	فسفر قابل‌دسترس Available P (ppm)
158	دمای ذوب Melting teperature	1	آهن Fe (%)	0.8	چگالی توده‌ای Mass density ($g.cm^{-1}$)	472	پتاسیم قابل‌دسترس Available K (ppm)
200	دمای جوش Boiling temperature	0.8	نیتروژن آلی Organic N (%)	9.81	اسیدیته pH	2.3	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)
2.4	انحلال‌پذیری در آب Solubility in water	9-10	اسیدیته pH			0.58	کربن آلی خاک Soil organic C (%)
2.1	اسیدیته pH					7.26	اسیدیته pH

آماده‌سازی زمین با تأکید بر خاک‌ورزی حداقل، انجام شد به این صورت که زمین فقط دیسک زده شد و پس از آن کلیه عملیات آماده‌سازی زمین توسط کارگر و با بیل دستی انجام گرفت. پس از آماده‌سازی زمین، مقدار سوپرجاذب برای هر یک از کرت‌های مربوطه محاسبه و به‌طور یکنواخت در سطح کرت‌های مورد نظر پخش و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری کاملاً با خاک مخلوط شدند. خصوصیات نهاده‌های مورد استفاده در آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

نیاز کودی ذرت برای نیتروژن از منبع شیمیایی (کود اوره)، با توجه به استفاده ترکیبی از این کود با سایر نهاده‌ها کمتر از میزان معمول و به‌طور متوسط ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره تعیین شد، ضمن اینکه گزارش شده است با افزایش مصرف نیتروژن، بهره‌وری آب در ذرت کاهش می‌یابد و مصرف نیتروژن بالا نمی‌تواند در کاهش اثرات سوء تنش خشکی مؤثر باشد (Heydaripour et al., 2014).

بذور ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) در تاریخ ۲۰ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵ روی ردیف‌هایی به‌فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر و با فاصله روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر و تراکم هفت بوته در مترمربع به‌صورت کپه‌ای کشت و در هر کپه چهار عدد بذر قرار داده شد. بلافاصله پس از کشت آبیاری زمین به‌روش نشتی انجام شد. در هر کرت آزمایشی، شش ردیف و طول ردیف‌ها سه متر در نظر گرفته شد. جهت اجتناب از مخلوط شدن آب کرت‌ها با یکدیگر، برای هر تکرار و هر کرت لوله آبیاری جداگانه در نظر گرفته شد و سطوح آبیاری بسته به تیمار آزمایشی، هر هفت روز یک‌بار توسط کنتور اعمال شد و به‌منظور اعمال دقیق حجم‌های آبیاری برای کرت‌ها خروجی فاضلاب لحاظ نشد. برای رسیدن به تراکم مناسب، پس از رسیدن گیاه به مرحله چهار برگی، عملیات تنک کردن انجام گرفت. اعمال سطوح مختلف هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید در دو نوبت به‌صورت محلول‌پاشی روی برگ‌ها در مراحل شش تا هفت برگی و قبل از گل‌دهی در کرت‌های مربوطه انجام گرفت.

به‌منظور کنترل علف‌های هرز، سه نوبت وجین دستی (دو، چهار و شش هفته پس از کاشت) انجام شد. در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد، هیچ‌گونه علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد. به‌منظور محاسبه آنالیزهای رشد و خصوصیات رشدی، نمونه‌برداری‌های تخریبی از ۳۰ روز پس از سبز شدن، هر ۱۵ روز یک‌بار، با حذف اثرات حاشیه‌ای و به‌طور تصادفی از مساحت نیم مترمربع (سه بوته) در هر کرت آزمایشی انجام و صفاتی چون سطح‌برگ، ارتفاع بوته و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. برای تعیین شاخص سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ[1] استفاده شد. به‌منظور محاسبه سرعت رشد محصول (CGR)[2] در طول فصل رشد از معادله‌ی ۱ استفاده شد (Koocheki & Sarmadnia, 2006):

$$CGR=\frac{1}{GA}\times\frac{W_2-W_1}{t_2-t_1} \qquad \text{(1)}$$

معادله (۱)

که در آن، GA: سطح زمین (مترمربع)، W_1: وزن خشک اولیه گیاه (گرم در مترمربع)، t_1: زمان نمونه‌گیری اول (روز پس از سبز شدن)، W_2: وزن خشک گیاه در نوبت دوم نمونه‌گیری (گرم در مترمربع) و t_2: زمان نمونه‌گیری دوم (روز پس از سبز شدن) است. در اواخر فصل رشد، با آغاز مرحله‌ی رسیدگی و زرد شدن بوته‌ها، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، به‌طور تصادفی بوته‌های موجود در سطح یک مترمربع از هر کرت برداشت و عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک گیاهان مورد بررسی تعیین شد و رطوبت دانه در زمان اندازه‌گیری حدود ۱۴ درصد بود. در پایان عملیات برداشت، میزان نیتروژن، فسفر، EC و pH خاک کرت‌های آزمایشی اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین مقدار کل نیتروژن موجود در نمونهٔ خاک (منهای نیتروژن نیتراتی)، ابتدا با استفاده از اسید سولفوریک و کاتالیزور، عمل هضم نمونه انجام و سپس مقدار نیتروژن در عصاره حاصل توسط روش کجلدال (Bremner & Mulvaney, 1965) و با استفاده از دستگاه Semi-Automated Distillation Unit انجام شد. به‌منظور تعیین مقدار فسفر قابل جذب در خاک، ابتدا از نمونه خاک مطابق روش اولسن و سامرز (Olsen & Sommers, 1982) عصاره تهیه شد و سپس مقدار فسفر در عصاره حاصل به‌روش مورفی و رایلی (Morphy & Riley, 1962) اندازه‌گیری شد.

کارآیی مصرف آب آبیاری (WUE)[3] ($kg\ Seed.m^3\ Water^{-1}$) در تیمارهای مختلف توسط معادله ۲ محاسبه شد (Payeroa et al., 2009):

1- Leaf Area Meter, Delta T, Co. Ltd, Uk
2- Crop growth rate
3- Water use efficiency

معادله (۲)
$$WUE = \frac{Y_s}{W_I + W_P}$$

که در آن، Y_s: عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)، W_I: مقدار آب آبیاری ($m^3.ha^{-1}$) و W_P: میزان بارندگی (mm) است.

در تجزیه عاملی، پس از استخراج عامل‌های اولیه، برای این‌که عامل‌ها بیشترین میزان از واریانس متغیرها را تبیین کنند، لازم است چرخش داده شوند. چرخش متغیرها به روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد که در این پژوهش یکی از متداول‌ترین روش‌های چرخش به‌نام وریماکس[1] مورد استفاده قرار گرفت. در این روش سعی بر آن است، تا ستون‌های ماتریس عاملی تا حد امکان ساده شوند. به‌عبارت‌دیگر، این روش درصدد حداکثر کردن مجموع واریانس بارهای ماتریس عاملی است، به‌طوری‌که بر تبیین‌پذیری عامل‌ها افزوده گردد (Mansourfar, 2012). در رهیافت چرخش واریماکس، سعی می‌شود برخی از متغیرها بار عاملی بسیار بالا (یعنی نزدیک به ۱+ یا ۱−) و برخی متغیرها بار عاملی بسیار پایین (یعنی نزدیک به صفر) در هر ستون از ماتریس داشته باشند. منطق حاکم این است که زمانی‌که همبستگی بین متغیر و عامل، نزدیک به ۱+ یا ۱− باشد، تفسیر به ساده‌ترین شکل انجام می‌گیرد و می‌توان قضاوت کرد که ارتباط روشن و قابل قبولی بین متغیر و عامل وجود دارد و اگر این همبستگی به صفر نزدیک باشد، به‌راحتی می‌توان در خصوص عدم وجود رابطه قضاوت نمود (Kalantari, 2012).

تجزیه واریانس (ANOVA) و تحلیل داده‌ها، تجزیه عاملی و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS Ver. 9.4، SPSS Ver. 23 و Minitab Ver. 17 انجام شد. میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس خصوصیات خاک و برخی خصوصیات رشدی و عملکرد ذرت تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای در جدول ۲ آورده شده است. عملکرد دانه تحت تأثیر کاربرد همزمان نیتروژن و سوپرجاذب، کاربرد همزمان سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید، کاربرد همزمان نیتروژن، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید و کاربرد همزمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید (جدول ۲) به‌ترتیب ۱، ۸، ۱۴ و ۱۵ درصد در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی و به‌ترتیب ۵، ۱۹، ۱۵ و ۲۱ درصد در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۳). اگر چه کاربرد همزمان نیتروژن و سوپرجاذب در هر دو شرایط تأمین ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی منجر به افزایش عملکرد دانه شد، ولی به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید منجر به بروز هم‌افزایی اثرات مثبت این نهاده‌ها شد (جدول ۳). احتمالاً سوپرجاذب رطوبت از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و ساختمان خاک (Abedi-Koupai et al., 2012) و افزایش کارآیی مصرف عناصر غذایی (Eneji et al., 2013) و کاهش نیاز آبی گیاه (Xie et al., 2011) افزایش عملکرد دانه را سبب شده است. به نظر می‌رسد هیومیک اسید احتمالاً با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت نگهداری آب در خاک (Sidari et al., 2006) و همچنین افزایش جریان شیره گیاهی در آوندها (Shahryari et al., 2008) منجر به بهبود عملکرد دانه شد. سالیسیلیک اسید نیز احتمالاً از طریق تأثیر بر آنزیم‌های کاتالاز و پروکسیداز و سایر تنظیم‌کننده‌های اسمزی نظیر پرولین، گلیسین و بتائین توانسته آثار ناشی از تنش خشکی را کاهش داده و در نهایت، منجر به افزایش عملکرد دانه شود (El-Tayeb, 2005; Horvath et al., 2002).

در یک پژوهش، پس از بررسی اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت و هیومیک اسید در شرایط کم‌آبیاری در ذرت گزارش شد که بیشترین میزان عملکرد دانه متعلق به تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت، هشت کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید و ۳۰۰ مترمکعب در هکتار آب در هر نوبت آبیاری بود (Jahan et al., 2017). کاربرد هیومیک اسید، سالیسیلیک اسید و مصرف توأم هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید به‌ترتیب افزایش معنی‌دار ۲۶/۵، ۱۸/۵ و ۲۱/۷ درصدی عملکرد دانه را نسبت به شاهد سبب شد (Ragh Ara & Moosavi, 2018). اثر سالیسیلیک اسید بر رشد و عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش خشکی را بررسی و گزارش شد که سالیسیلیک اسید در هر دو شرایط تنش و غیرتنش منجر به افزایش عملکرد دانه شد (Mehrabian Moghaddam et al., 2011). همچنین پرایمینگ بذر ذرت دانه‌ای با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید عملکرد دانه را به‌طور متوسط ۱۳/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (Siami et al., 2017).

1- Varimax

جدول ۲- تجزیه واریانس(میانگین مربعات) خصوصیات خاک و برخی خصوصیات رشدی و عملکرد ذرت تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای

Table 2- Analysis of variance (mean comparisons) for soil characteristics and growth criteria and yield of maize affected by interaction effects of irrigation levels and nutritional treatments

	عملکرد دانه SY	عملکرد ماده خشک BY	وزن دانه در بوته SW	ارتفاع بوته H	شاخص سطح برگ LAI	سرعت رشد محصول CGR	نیتروژن خاک Soil N	فسفر خاک Soil P	شوری خاک EC	اسیدیته خاک pH	کارآیی مصرف آب WUE
بلوک Block	26801**	70277*	1467**	207**	0.19*	0.18**	0.0002**	0.000002**	0.02**	0.20*	0.0001**
سطوح آبیاری Irrigation levels	8550408**	4945080**	165020**	2508**	9.22**	12.32**	0.004**	0.00005**	0.37**	4.13**	0.61**
خطای اصلی Main error	6740	6030	106	18.80	0.02	0.03	0.00001	0.00000002	0.003	0.03	0.000006
تیمارهای تغذیه‌ای Nutritional treatments	2519570**	6000003**	10600**	3338**	5.14**	12.97**	0.02**	0.00009**	0.05**	8.84**	0.01**
سطوح آبیاری × تیمارهای تغذیه‌ای Irrigation levels×nutritional treatments	229176**	1200373**	7078**	110*	0.85**	0.74**	0.0004**	0.00001**	0.04**	0.09^{ns}	0.0006**
خطای فرعی Sub error	1236	10458	162	5.48	0.01	0.01	0.000008	0.00000003	0.002	0.01	0.000004
خطای کل Total error	718	15836	64	16.31	0.04	0.01	0.00001	0.00000002	0.002	0.04	0.000001
ضریب تغییرات CV (%)	0.36	1.00	3.70	4.67	4.04	2.21	3.01	1.30	11.73	2.44	0.24

SY: عملکرد دانه، BY: عملکرد ماده خشک، SW: وزن دانه در بوته،H : ارتفاع، LAI: شاخص سطح برگ، CGR: سرعت رشد محصول، Soil N: نیتروژن خاک، Soil p: فسفر خاک، EC: شوری خاک، pH: اسیدیته خاک و WUE: کارآیی مصرف آب

SY: Seed Yeild, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, H: Plant Height, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, EC: Electrical Conductivity, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency.

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم‌تفاوت معنی‌دار

*, ** and ns: are significant at 5 and 1% probability level and non-significant, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی خصوصیات مرتبط با خاک و برخی خصوصیات رشدی و عملکرد ذرت تحت تأثیر اثرات متقابل مقادیر مختلف آبیاری و تیمار تغذیه‌ای

Table 3- Mean comparisons of some characteristics related to soil and some growth characteristics and yield of maize affected by interaction effects of different irrigation levels and nutritional treatments

	تیمارهای تغذیه‌ای Nutritional treatments	عملکرد دانه SY (kg.ha^{-1})	عملکرد ماده خشک BY (kg.ha^{-1})	وزن دانه در بوته SW (g)	ارتفاع بوته H (cm)	شاخص سطح برگ LAI	سرعت رشد محصول CGR (g.m^{-2}.day^{-1})	نیتروژن خاک Soil N (%)	فسفر خاک Soil P (%)	شوری خاک Soil EC (dS.m^{-1})	پی‌اچ خاک Soil pH	کارآیی مصرف آب WUE (kg seed.m^3 water)
۵۰ درصد نیاز آبی 50% Water requirement	کاربرد هم‌زمان نیتروژن و سوپرجاذب Simultaneous application of N and S	12654^h	23358^e	143.33^f	63^f	3.86^f	3.10^i	0.13^e	0.0039^h	0.47^b	7.75^e	0.63^d
	کاربرد هم‌زمان سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of S, HA and SA	13622^g	22734^f	94.00^g	79^e	4.36^e	5.19^d	0.04^h	0.0097^e	0.38^{bc}	9.17^c	0.68^c
	کاربرد هم‌زمان نیتروژن ، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of N, HA and SA	14524^d	26346^c	178.00^e	88d^e	5.45^c	3.75^{gh}	0.11^f	0.0110^d	0.75^a	8.57^d	0.72^b
	کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of N, S, HA and SA	14740^d	26540^c	182.67^e	110^b	5.66^c	6.05^c	0.16^c	0.0126^c	0.47^b	9.59^b	0.73^a
	شاهد Control	12515^h	22424^f	111.67^g	45^g	3.32^g	3.54^h	0.02^i	0.0028^i	0.67^a	6.82^g	0.62^e
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% Water requirement	کاربرد هم‌زمان نیتروژن و سوپرجاذب Simultaneous application of N and S	14236^e	24510^d	249.00^c	96^{cd}	4.90^d	4.71^e	0.18^b	0.0093^e	0.35^{bc}	8.33^d	0.35^i
	کاربرد هم‌زمان سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of S, HA and SA	16744^b	27314^b	341.67^b	97^{cd}	6.37^b	7.22^b	0.05^g	0.0145^b	0.37^{bc}	10.14^a	0.41^g
	کاربرد هم‌زمان نیتروژن ، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of N, HA and SA	16353^c	26754^c	268.00^c	102^{bc}	5.37^c	4.36^f	0.14^d	0.0079^f	0.27^{cd}	9.56^b	0.40^h
	کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of N, S, HA and SA	17542^a	28415^a	375.33^a	122^a	6.96^a	7.75^a	0.19^a	0.0159^a	0.19^d	10.36^a	0.43^f
	شاهد Control	13858^f	22530^f	217.33^d	58^f	4.60^{de}	4.00^g	0.02^i	0.0060^g	0.46^b	7.23^f	0.34^j

SY: عملکرد دانه، BY: عملکرد ماده خشک، SW: وزن دانه در بوته، H : ارتفاع، LAI: شاخص سطح برگ، CGR: سرعت رشد محصول، Soil N: نیتروژن خاک، Soil p: فسفر خاک، EC: شوری خاک، pH: اسیدیته خاک و WUE: کارآیی مصرف آب

SY: Seed Yeild, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, H: Plant Height, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, EC: Electrical Conductivity, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency.

* در هر ستون، برای هر عامل، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند.

N، S، HA و SA به‌ترتیب نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید می‌باشند.

* In each column, for each factor, means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$), at 5% probability level.

N, S, HA and SA are Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid and Salicylic acid, respectively.

در شرایط تنش خشکی (تأمین تنها نیمی از نیاز آبی)، کلیه تیمارهای تغذیه‌ای مورد مطالعه در بهبود خصوصیات رشدی و ویژگی‌های مرتبط با خاک مؤثر بودند (جدول ۲)، ولی بیشترین مقدار عملکرد ماده خشک (۲۶۵۴۰ کیلوگرم در هکتار)، وزن دانه در بوته (۱۸۲/۶۷ گرم)، ارتفاع بوته (۱۱۰ سانتی‌متر)، شاخص سطح برگ (۵/۶۶)، سرعت رشد محصول (۶/۰۵ گرم در مترمربع در روز)، نیتروژن (۰/۱۶ درصد)، فسفر (۰/۰۱۲۶ درصد) و پی‌اچ خاک (۹/۵۹) در تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید مشاهده شد (جدول ۳). اثر متقابل سطوح آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای بر کارآیی مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین کارآیی مصرف آب با تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی و در تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید به‌دست آمد (جدول ۳). با توجه به نتایج جدول ۳، به‌نظر می‌رسد که از نظر کارآیی مصرف آب، کاربرد سوپرجاذب توأم با هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید بهتر از ترکیب این کود با نیتروژن بود، به‌طوری‌که کارآیی مصرف آب در تیمار کاربرد هم‌زمان سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید در شرایط تأمین ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب ۷ و ۱۵ درصد بیشتر از تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن و سوپرجاذب بود. نتایج برش‌دهی اثرات متقابل نشان داد که در کلیه صفات مورد بررسی بین سطوح آبیاری تأمین ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴). عملکرد ماده خشک تحت تأثیر تیمارهای کاربرد هم‌زمان نیتروژن، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید و شاهد قرار نگرفت (جدول ۴). به‌جز تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید سایر تیمارهای تغذیه‌ای در بهبود شاخص سطح برگ مؤثر بودند (جدول ۴). میزان نیتروژن خاک در شرایط استفاده از کلیه تیمارهای تغذیه‌ای افزایش یافت، ولی شاهد از این نظر اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۴). علی‌رغم تأثیرگذاری کلیه تیمارهای تغذیه‌ای بر میزان شوری خاک، اثر تیمار کاربرد هم‌زمان سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). با توجه به اینکه سوپرجاذب رطوبت می‌تواند ۴۰۰ الی ۱۵۰۰ گرم آب را در هر گرم هیدروژل ذخیره کند (Nazarli et al., 2010)، به نظر می‌رسد این نهاده احتمالاً از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب در عمق توسعه ریشه و کاهش اثرات تنش خشکی (Xie et al., 2011) منجر به بهبود ویژگی‌های رشدی و کارآیی مصرف آب گیاه شد. هیومیک اسید احتمالاً از طریق فعال کردن چرخه تنفس، فتوسنتز و تولید آمینواسید و آدنوزین تری فسفات (Sidari et al., 2006) و همچنین انتقال عناصر غذایی و مواد تنظیم‌کننده رشد (Shahryari et al., 2008) باعث بهبود صفات مورد مطالعه شد. با توجه به اینکه ثابت شده است سالیسیلیک اسید در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نظیر افزایش میزان فتوسنتز و محتوای کلروفیل، بسته شدن روزنه‌ها، جلوگیری از بیوسنتز اتیلن، کاهش تنفس و افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی مؤثر است (El-Tayeb, 2005)، این نهاده احتمالاً از این طریق اثرات مثبت خود بر ویژگی‌های رشدی، عملکرد و کارآیی مصرف آب گیاه را ایفا کرده است. در یک پژوهش، پس از امکان‌سنجی استفاده از سوپرجاذب رطوبت به‌منظور کاهش تنش خشکی در ذرت گزارش شد که بیشترین ارتفاع بوته (۱۴۰/۵ سانتی‌متر) و ماده خشک (۱۴۴/۵ گرم در مترمربع) در تیمار ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت حاصل شد (Jahan et al., 2013). استفاده از ترکیب کودهای هیومیک اسید و کود شیمیایی اوره، ارتفاع گیاه و وزن تر و خشک اندام هوایی ذرت را افزایش داد (Amini et al., 2017). در پژوهشی، بیشترین عملکرد دانه، تعداد دانه در ردیف و طول بلال در ذرت در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید به‌دست آمد (Ghorbani et al., 2014). کاربرد سالیسیلیک اسید و هیومیک اسید در ذرت به‌ترتیب افزایش ۶۱/۲ و ۳۹/۳ درصدی محتوای نسبی آب برگ، ۱۳/۱ و ۲۳/۷ درصدی وزن بلال و ۲۴/۵ و ۲۴/۲ درصدی عملکرد را در پی داشت (Dehghanzadeh Jazi & Adavi, 2019).

ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه

بین عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک با ارتفاع بوته (به‌ترتیب $r= ۰/۸۳^{**}$ و $r= ۰/۸۸^{**}$)، شاخص سطح برگ ($r= ۰/۹۳^{**}$ و $r= ۰/۹۱^{**}$)، سرعت رشد محصول ($r= ۰/۸۰^{**}$ و $r= ۰/۷۰^{**}$) و میزان نیتروژن خاک ($r= ۰/۴۴^{*}$ و $r= ۰/۶۳^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده شد، در نتیجه به‌نظر می‌رسد با برنامه‌ریزی تغذیه‌ای مناسب در شرایط کم‌آبی و بهبود صفات ذکر شده، می‌توان تولید عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک را به حداکثر رساند (جدول ۵). با توجه به همبستگی مثبت عملکرد دانه و خصوصیات رشدی ذرت با میزان نیتروژن و فسفر خاک به‌نظر می‌رسد که کاربرد نهاده‌های مؤثر در بهبود وضعیت عناصر غذایی خاک، نقش به‌سزایی در دستیابی به تولید حداکثر گیاه داشته باشد (جدول ۵).

جدول ٤- برش‌دهی اثرات متقابل مقادیر مختلف آبیاری و تیمار تغذیه‌ای برخی خصوصیات مرتبط با خاک و برخی خصوصیات رشدی و عملکرد ذرت

Table 4- Slicing the interaction effects of different irrigation levels and nutritional treatments on some characteristics related to soil and some growth characteristics and yield of maize

	عملکرد دانه Seed Yield	عملکرد ماده خشک Biological Yield	وزن دانه در بوته Seed Weight per plant	ارتفاع بوته Plant Height	شاخص سطح برگ Leaf Area Index	سرعت رشد محصول Crop Growth Rate	نیتروژن خاک Soil Nitrogen	فسفر خاک Soil Phosphorous	شوری خاک Electrical Conductivity	اسیدیته خاک pH	کارآیی مصرف آب Water Use Efficiency
سطوح آبیاری Irrigation levels											
۵۰ درصد نیاز آبی 50% Water requirement	792635**	3011131**	4631**	1839**	3.03**	4.61**	0.01**	0.00005**	0.07**	3.72**	0.007**
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% Water requirement	1956112**	4189246**	13047**	1609**	2.97**	9.09**	0.01**	0.00005**	0.03*	5.20**	0.004**
تیمارهای تغذیه‌ای Nutritional treatments											
کاربرد هم‌زمان نیتروژن و سوپرجاذب Simultaneous application of N and S	938522**	498240**	16748**	1650**	1.64**	3.90**	0.0037**	0.00004**	0.0210*	0.510417 *	0.11**
کاربرد هم‌زمان سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of S, HA and SA	3655082**	7863860**	92008**	493**	6.02**	6.16**	0.0002**	0.00003**	0.0003ns	1.40**	0.10**
کاربرد هم‌زمان نیتروژن ، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of N, HA and SA	1254008**	62424ns	12150**	294**	0.009ns	0.56**	0.0009**	0.00001**	0.3504**	1.45**	0.15**
کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of N, S, HA and SA	2942801**	1317891**	55681**	234**	2.53**	4.35**	0.0016**	0.00001**	0.1218**	0.88**	0.13**
شاهد Control	676704**	4160ns	16748**	279**	2.44**	0.30**	0.00002ns	0.00001**	0.0672**	0.25*	0.11**

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم‌تفاوت معنی‌دار.

*, ** and ns: are significant at 5 and 1% probability level and non-significant, respectively.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در ذرت تحت‌تأثیر مقادیر مختلف آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای

Table 5- Correlation coefficients between studied traits in maize affected by different irrigation levels and Nutritional treatments

	عملکرد دانه Seed Yield	عملکرد ماده خشک Biological Yield	وزن دانه در بوته Seed Weight	ارتفاع بوته Plant Height	شاخص سطح برگ Leaf Area Index	سرعت رشد محصول Crop Growth Rate	نیتروژن خاک Soil Nitrogen	فسفر خاک Soil Phosphorous	شوری خاک Electrical Conductivity (EC)	پی‌اچ خاک pH
عملکرد ماده خشک BY	0.89**									
وزن دانه در بوته SW	0.89**	0.77**								
ارتفاع بوته H	0.83**	0.88**	0.68**							
شاخص سطح برگ LAI	0.93**	0.91**	0.84**	0.88**						
سرعت رشد محصول CGR	0.80**	0.70**	0.71**	0.75**	0.83**					
نیتروژن خاک Soil N	0.44*	0.63**	0.44*	0.74**	0.51**	0.30				
فسفر خاک Soil P	0.82**	0.82**	0.67**	0.87**	0.92**	0.89**	0.44*			
شوری خاک EC	-0.59**	-0.34	-0.59**	-0.50**	-0.44*	-0.56**	-0.37*	-0.38*		
اسیدیته خاک pH	0.85**	0.84**	0.63**	0.90**	0.85**	0.83**	0.48**	0.88**	-0.55**	
کارآیی مصرف آب WUE	-0.43*	-0.13	-0.67**	-0.14	-0.27	-0.23	-0.06	-0.07	0.58**	-0.07

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and ** are significant at 5 and 1% probability level, repectively.

جدول ٦- مقادیر ویژه و واریانس متناظر عامل‌ها در تعیین عامل‌های مؤثر در کارآیی مصرف آب ذرت در پاسخ به تیمارهای تغذیه‌ای (نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید)

Table 6- Eigenvalues and corresponding variance of factors in determing of effecting factors in water use efficiency of maize in response to nutritional treatments (Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid and Salicylic acid)

مؤلفه Component	مقادیر ویژه اولیه Initial eigenvalues			مجموع مربعات بارهای اولیه Extraction sums of squared loading			مجموع مربعات بارهای چرخش‌یافته Rotaition sums of squared loadings		
	کل Total	درصد واریانس % of Variance	درصد تجمعی Cumulative %	کل Total	درصد واریانس % of Variance	درصد تجمعی Cumulative %	کل Total	درصد واریانس % of Variance	درصد تجمعی Cumulative %
1	7.56	68.78	68.78	7.56	68.78	68.78	6.50	59.10	59.10
2	1.53	13.91	82.69	1.53	13.91	82.69	2.59	23.59	82.69

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، ترکیب‌های مختلف کاربرد همزمان نهاده‌هایی نظیر نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید منجر به افزایش صفاتی همچون وزن دانه در بوته شده و با توجه به همبستگی مثبت عملکرد دانه با وزن دانه در بوته، بهبود عملکرد دانه در شرایط استفاده از این نهاده‌ها منطقی به نظر می‌رسد. با افزایش ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ، احتمالاً نور بیشتری در اختیار برگ‌ها قرار گرفته و به تبع آن مواد فتوسنتزی بیشتری در برگ‌ها ساخته و به اندام‌های زایشی انتقال یافته است، در نتیجه با افزایش ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ، عملکرد دانه بهبود پیدا کرده است. نقش عناصر غذایی مهمی نظیر نیتروژن و فسفر در بهبود ویژگی‌های رشدی و عملکرد محصولات مختلف امری اثبات شده است و کاربرد همزمان نهاده‌هایی همچون نیتروژن، سوپرجاذب رطوبت، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید که بتواند ضمن کاهش اثرات تنش خشکی، میزان عناصر غذایی در دسترس گیاه را افزایش دهد، ضروری به نظر می‌رسد.

تجزیه عاملی عوامل مؤثر بر کارآیی مصرف آب

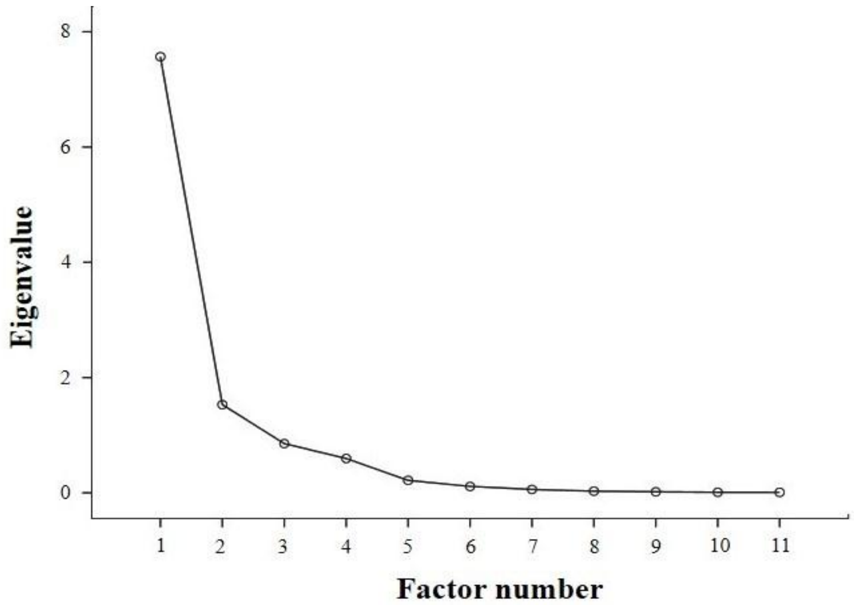
مقادیر ویژه[1] و واریانس متناظر[2] عامل‌ها در تعیین عوامل مؤثر در کارآیی مصرف آب در پاسخ به کاربرد نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار در جدول ۶ نشان داده شده است. بر این اساس و با توجه به درصد واریانس تجمعی (۸۳ درصد)، متغیرها به دو عامل تجزیه شد. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار واریانس متغیرها مربوط به عامل‌های اول و دوم بود، به‌طوری‌که عامل اول و دوم به‌ترتیب ۵۹ و ۲۴ درصد از واریانس متغیرها را تبیین کردند. سهم واریانس عامل سوم، هشت درصد بود.

خلاصه‌سازی اطلاعات و کاهش داده‌ها منجر به این شد که متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و نیتروژن، فسفر و پی‌اچ خاک در عامل اول و متغیرهای وزن دانه در بوته، شوری خاک و کارآیی مصرف آب در عامل دوم قرار گرفتند (شکل ۲).

جدول ۷، بارهای عاملی و میزان اشتراک مؤلفه‌های اصلی مؤثر در کارآیی مصرف آب در پاسخ به مقادیر مختلف آبیاری و کاربرد تیمارهای تغذیه‌ای بعد از چرخش عامل‌ها را نشان می‌دهد. هر یک از صفات مورد بررسی، بسته به اینکه در کدام فاکتور دارای بار عاملی بیشتری باشند (بدون در نظر گرفتن علامت مثبت و منفی)، در عامل اول یا دوم قرار گرفتند (Mansourfar, 2012). متغیرهای عملکرد دانه، نیتروژن، فسفر و پی‌اچ خاک بیشترین وزن‌ها را روی عامل اول داشتند (جدول ۷). همان‌طور که قبلاً بیان شد، متغیرهای درون هر عامل از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردار هستند، بنابراین به‌نظر می‌رسد که هر گونه تغییر در متغیرهای عامل اول، سبب تغییر در عملکرد دانه خواهد شد. به نظر می‌رسد، همبستگی منفی شوری خاک و کارآیی مصرف آب با سایر متغیرها نشان‌دهنده اهمیت و نقش مؤثر این دو متغیر باشد و پیشنهاد می‌شود، تأثیر برهم‌کنش کودهای مصرفی در میزان شوری خاک در مطالعات آتی بررسی شود. در عامل اول، متغیرهای مهمی نظیر عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک و خصوصیات رشدی قرار گرفتند، بنابراین می‌توان این عامل را توصیف‌کننده عملکرد و عامل دوم که شامل متغیرهای وزن دانه در بوته (۰/۷۱-)، شوری خاک (۰/۷۳) و کارآیی مصرف آب بود (جدول ۶)، به این دلیل که دارای بیشترین بار (۰/۹۶) روی کارآیی مصرف آب بود، عامل کارآیی مصرف آب نامید.

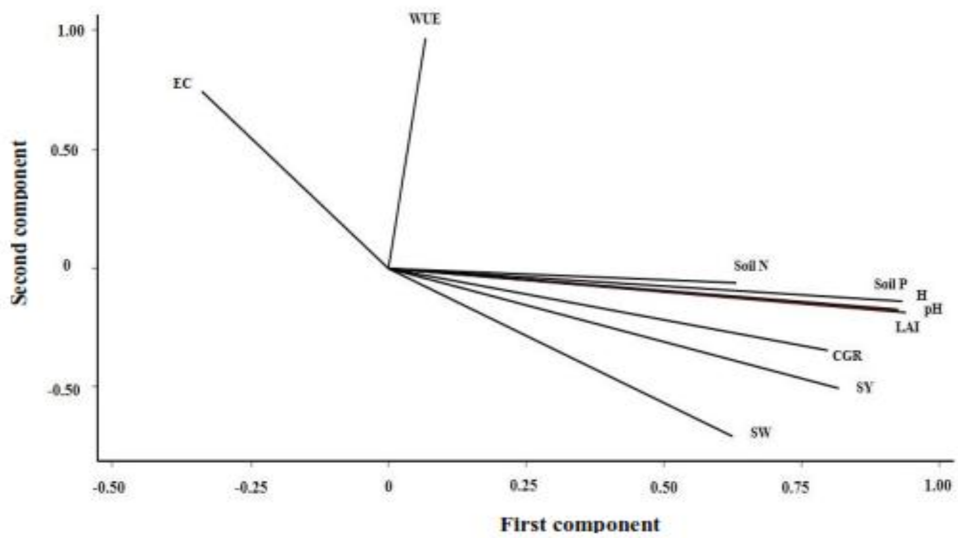
با توجه به نقش نهاده‌هایی همچون نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید در کاهش اثرات تنش خشکی و افزایش کارآیی مصرف آب (جدول ۳)، به نظر می‌رسد گیاه با در اختیار داشتن آب کافی، توانسته مواد فتوسنتزی بیشتری تولید و آن را به اندام‌های رویشی و زایشی مختلف ارسال کند و در نتیجه، عملکرد ماده خشک و وزن دانه در بوته در این شرایط افزایش یافته است. کاربرد نهاده‌های مؤثر در افزایش سرعت رشد محصول، احتمالاً سبب شده گیاه در مدت زمان کوتاه‌تری سطح برگ خود را گسترش دهد و با افزایش سطح برگ، مواد فتوسنتزی بیشتری تولید و به سایر اندام‌ها و در شرایط تنش خشکی به ریشه ارسال شود، با دریافت مواد فتوسنتزی بیشتر توسط ریشه، احتمالاً عمق توسعه ریشه بیشتر شده و در نتیجه، توانایی گیاه در جذب آب و مواد غذایی افزایش یافته و به تبع آن، بهبود ویژگی‌های رشدی و عملکرد دانه حاصل شده است.

1- Eigenvalue
2- Corresponding variance



شکل ۱- مقادیر ویژه و تجزیه عاملی عوامل مؤثر در کارآیی مصرف آب ذرت در پاسخ به تیمارهای تغذیه‌ای (نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید)

Fig. 1- Eigenvalues and factor analysis of effecting factors in water use efficiency of maize in response to nutritional treatments (Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid, and Salicylic acid)



شکل ۲- بار متغیرهای اندازه‌گیری شده روی دو عامل استخراج شده در ذرت تحت‌تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای (نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید)

Fig. 2- Loading plot of measured variables on two extracted factors in maize affected by different irrigation levels and nutritional treatments (Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid, and Salicylic acid)

SY: عملکرد دانه، BY: عملکرد ماده خشک، SW: وزن دانه در بوته، H: ارتفاع بوته، LAI: شاخص سطح برگ، CGR: سرعت رشد محصول، Soil N: نیتروژن خاک، Soil P: فسفر خاک، EC: شوری خاک، pH: پی‌اچ خاک و WUE: کارآیی مصرف آب

SY: Seed Yield, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, EC: Electrical Conductivity, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency

جدول ۷- بارهای عاملی و میزان اشتراک عامل‌های مؤثر در کارآیی مصرف آب ذرت در پاسخ به تیمارهای تغذیه‌ای (نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید) بعد از چرخش وریماکس

Table 7- Factor loading and communalities of effecting factor in water use efficiency of maize in response to nutritional treatments (Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid and Salicylic acid) after varimax rotation

	فاکتور اول First factor	فاکتور دوم Second factor	اشتراک Communality
عملکرد دانه Seed yield	0.81	-0.51	0.92
عملکرد ماده خشک Biological yield	0.92	-0.17	0.88
وزن دانه در بوته Seed weight per plant	0.62	-0.71	0.89
ارتفاع بوته Plant height	0.94	-0.18	0.91
شاخص سطح برگ LAI	0.90	-0.32	0.93
سرعت رشد محصول CGR	0.79	-0.34	0.75
نیتروژن خاک Soil nitrogen	0.63	-0.06	0.40
فسفر خاک Soil phosphorous	0.93	-0.14	0.89
شوری خاک EC	-0.34	0.73	0.66
پی‌اچ خاک pH	0.92	-0.18	0.88
کارآیی مصرف آب WUE	0.06	0.96	0.93

قرارگیری عملکرد دانه و خصوصیات مربوط به خاک (میزان نیتروژن، فسفر، شوری و اسیدیته خاک) در یک عامل مشترک، احتمالاً نشان‌دهنده اهمیت توجه به وضعیت و کیفیت خاک برای دستیابی به حداکثر عملکرد کمّی و کیفی محصول است و همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، همبستگی میزان نیتروژن، فسفر و اسیدیته خاک با عملکرد دانه مثبت (به‌ترتیب *۰/۴۴، **۰/۸۲ و **۰/۸۵ =r) و شوری خاک دارای اثر منفی بر عملکرد دانه (**۰/۵۹- =r) بود، لذا در بوم‌نظام‌های زراعی به‌ویژه در شرایط محدودیت‌های آبی، کاربرد نهاده‌هایی نظیر سوپرجاذب رطوبت، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید که به نظر می‌رسد، بتواند بهبود ساختمان فیزیکی و حاصلخیزی خاک را به همراه داشته (Chu et al., 2006) و ظرفیت نگهداری رطوبت را در عمق توسعه ریشه افزایش دهد (Nykanen et al., 2011) و تنش‌های محیطی را به حداقل برساند (El-Tayeb, 2005)، ضرورت بیشتری دارد.

در یک پژوهش، اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت و هیومیک اسید در شرایط کم‌آبیاری بر برخی ویژگی‌های اگرواکولوژیکی ذرت بررسی و گزارش شد که در سناریوی اقتصادی با مصرف به‌ترتیب ۱۲۶/۰۶ و ۷/۱۹ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت و هیومیک اسید و ۳۴۷/۴۷ مترمکعب در هکتار آبیاری عملکرد دانه‌ای معادل ۲۶۷۰۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد و در سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی دستیابی به حداکثر عملکرد دانه و حداکثر کارآیی مصرف آب زمانی محقق شد که از ۱۲۳/۶۳ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب، ۷/۱۹ کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید و ۳۲۳/۲۳ مترمکعب در هکتار آبیاری استفاده شد (Jahan et al., 2017). تحلیل عاملی عوامل مؤثر بر کارآیی مصرف آب در ذرت در پاسخ به کاربرد سالیسیلیک اسید تحت شرایط کم‌آبیاری نشان داد که متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و کارآیی مصرف آب روی عامل اول و متغیرهای نیتروژن خاک، هدایت الکتریکی، اسیدیته و فسفر خاک روی عامل دوم بیشترین بار را داشتند (Jahan &

Amiri., 2018 a). در پژوهشی دیگر، پس از بررسی عوامل مؤثر بر کارآیی مصرف آب ذرت در پاسخ به کاربرد هیومیک اسید و کم‌آبیاری با استفاده از روش تجزیه به عامل‌ها گزارش شد که متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، فسفر خاک، شوری خاک، اسیدیته خاک و کارآیی مصرف آب در عامل اول و متغیرهای وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته و میزان نیتروژن خاک در عامل دوم قرار گرفتند (Jahan & Amiri, 2018 b). تعیین عوامل اصلی در بهره‌وری مصرف آب ذرت در پاسخ به کاربرد هیدروژل سوپرجاذب رطوبت نشان داد که همبستگی عملکرد دانه با عامل اول ۰/۳۳ بود و متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، میزان نیتروژن و اسیدیته خاک روی عامل اول و متغیرهای فسفر خاک، شوری خاک و کارآیی مصرف آب روی مؤلفه دوم دارای بیشترین بار بودند (Jahan & Amiri, 2020). در پژوهشی، نتیجه تجزیه عاملی روی ارقام هیبرید ذرت دانه‌ای نشان داد که صفاتی نظیر برگ بلال، ضخامت ساقه، ارتفاع بوته و تعداد دانه در ردیف، شاخص‌هایی مهم برای گزینش هیبریدهای ذرت با عملکرد بالا بودند (Zeinali et al., 2005).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که اگر چه کلیه تیمارهای تغذیه‌ای در کاهش خسارات ناشی از تنش خشکی (تأمین تنها ۵۰ درصد نیاز آبی) مؤثر بودند، ولی بیشترین عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، وزن دانه در بوته، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، نیتروژن خاک و کارآیی مصرف آب در تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید و در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد. در شرایط تنش خشکی (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی)، تیمارهای کاربرد هم‌زمان نیتروژن و سوپرجاذب، کاربرد هم‌زمان سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید، کاربرد هم‌زمان نیتروژن، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید و کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید کارآیی مصرف آب را به‌ترتیب ۲، ۹، ۱۴ و ۱۵ درصد نسبت به شاهد بهبود بخشید. نتایج تجزیه عاملی نشان داد که متغیرهایی نظیر نیتروژن، فسفر و پی‌اچ خاک روی عامل اول قرار گرفتند، لذا به نظر می‌رسد این عامل توصیف‌کننده شرایط خاک و عامل دوم نشان‌دهنده خصوصیات مربوط به کارآیی مصرف آب (بار زیاد متغیر کارآیی مصرف آب روی این عامل) بود. به‌طور کلی، با توجه به یافته‌های این پژوهش، به نظر می‌رسد که کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار ضمن بهبود عملکرد و خصوصیات رشدی گیاه، می‌توانند کارآیی مصرف آب را بهبود بخشد. همچنین انجام تجزیه عاملی و همبستگی بالای متغیرهای درون هر عامل با یکدیگر، حاکی از آن بود که با ایجاد هر گونه تغییر در متغیرهایی که با کارآیی مصرف آب روی یک عامل قرار گرفته‌اند، می‌توان کارآیی مصرف آب را افزایش داده و خسارات ناشی از تنش خشکی و کم‌آبی را به حداقل رساند.

References

Abedi-Koupai, J, Sohrab, J., and Swarbrick, G., 2008. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. Journal of Plant Nutrition 31: 317-331. https://doi.org/10.1080/01904160701853928

Ahmadi, M., Mondani, F., Khorramivafa, M., Mohammadi, G., and Shirkhani, A., 2018. Effect of different levels of nitrogen fertilizer on yield and yield components of some new maize cultivars (*Zea mays* L.) in Kermanshah. Plant Ecophysiology 10: 212-222. (In Persian with English Summary)

Aghayari, F, Khalili, F., and Ardakani, M.R., 2016. Effect of deficit irrigation, partial irrigation and superabsorbent polymer on yield and yield components of corn (cv. KSC703). Journal of Water and Soil Resources Conservation 6: 1-14. (In Persian with English Summary)

Alah Gholipour, M., and Mohammad Salehi, M.S., 2003. Factor and path analysis in different rice genotypes. Journal of Seed and Plant Production 19: 76-87. (In Persian) https://doi.org/10.29252/jcb.10.27.143

Alizadeh, A., and Kamali, G., 2008. Water Requirement of Plants in Iran. Emam Reza University Press Iran. pp: 228. (In Persian)

Amini, B., Farahbakhsh, M., and Kianirad, M., 2017. Study on the effects of humic acid-urea fertilizers application on some agronomic characteristics of maize (*Zea mays* L.). Applied Soil Research 5: 31-40. (In Persian with English Summary)

Bagheri, R., Akbari, G., Kianmehr, M.H., and Tahmasbi Sarvestani, Z., 2011. The effect of slow releasing nitrogen

from pellet fertilizer of nitrogen and manure on grain yield and some physiological characteristics of corn. Electronic Journal of Crop Production 4(1): 97-113. (In Persian with English Summary) http://doi.org/20.1001.1.24763594.1391.16.59.15.8

Bahrani, M.J., and Babaei, G.H., 2007. Effect of different levels of plant density and nitrogen fertilizer on grain yield and its components and some quality traits in two sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences 9(3): 237-245. (In Persian with English Summary)

Bayat, S., and Sepehri Zare, A., 2010. Effect of foliar application of salicylic acid and paclobutrazol on some grain yield and dry matter remobilization of maize under drought stress. Journal of Cereal Research 4(2): 127-139. (In Persian) http://doi.org/20.1001.1.22520163.1393.4.2.4.0

Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S., 1965. Nitrogen-Total. In: Methods of Soil Analysis: Part II, Chemical and Microbiological Properties. Page, A.L. (Ed). 1982. Second Edition. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin USA. Agronomy Series 9: 595-622. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c31

Chu, M., Zhu, S.Q., Li, H.M., Huang, Z.B., and S.Q., Li., 2006. Synthesis of poly (acrylic acid)/sodium humate superabsorbent composite for agricultural use. Journal of Applied Polymer Science 102: 5137-5143. https://doi.org/10.1002/app.24661

Dehghanzade Jazi, H., and Adavi, Z., 2019. Effect of salicylic acid and humic acid on some physiological characteristics and yield of forage maize (*Zea mays* L.) under drought tension conditions. Crop Physiology Journal 40: 35-54. (In Persian with English Summary) http://doi.org/20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0

El-Tayeb, M.A., 2005. Response of barley to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation 45: 215-225. http://doi.org/10.1007/s10725-005-4928-1

Eneji, A.E., Islam, R., An, P., and Amalu, U.C., 2013. Nitrate retention and physiological adjustment of maize to soil amendment with superabsorbent polymers. Journal of Cleaner Production 52: 474-480. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.027

Fazeli Rostampour, M., and Mohebbian, S.M., 2012. Studying the effects of irrigation deficit and superabsorbent polymer on remobilization of assimilates in corn (*Zea mays* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences 4: 127-138. (In Persian with English Summary) http://doi.org/10.22077/escs.2012.105

Ghorbani, S., Khazaei, H.R., Kafi, M., Banayan Aval, M., and Sadeghi Shoae, M., 2014. Effect of foliar application of humic acid on yield, yield components and growth indices of maize. Journal of Crop Production Research 5: 325-337. (In Persian with English Summary)

Hassanzadeh, A., and Farajzadeh Memari Tabrizi, E., 2016. Ecophysiological evaluation of three maize (*Zea mays* L.) cultivars under irrigation regimes and use of super absorbent. Journal of Crop Ecophysiology 10: 151-166. (In Persian with English Summary)

Heydaripour, R., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Zare Feizeabadi, A., 2014. The effects of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on productivity and efficiency in corn, sugar beet and sesame. Journal of Agroecology 6(2): 187-198. (In Persian with English Summary) http://doi.org/10.22067/jag.v6i2.39361

Heidaripour, R., Koocheki, A.R., and Nassiri Mahallati, M., 2017. The effect of nitrogen fertilizer and density unusual levels on plant growth characteristics, grain and forage yield of maize. Iranian Journal of Field Crop Science 48: 865-876. (In Persian with English Summary) http://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.217558.654194

Horvath, E., Janda, T., Szalai, G., and Paldi, E., 2002. *In vitro* salicylic acid inhibition of catalase activity in maize: differences between the isozymes and a possible role in the induction of chilling tolerance. Plant Sciecne 163: 1129-1135. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00324-2

Islam, M.R., Eneji, A.E., Ren, C., Li, J., and Hu, Y., 2011. Impact of water-saving superabsorbent polymer on oat (*Avena* spp.) yield and quality in an arid sandy soil. Scientific Research and Essays 6: 720-728. http://doi.org/10.5897/SRE10.476

Jahan, M., and Amiri, M.B., 2020. Principal components analysis for water use efficiency of common bean, sesame and maize in response of application of water super absorbent hydrogel. Journal of Water and Soil Resources Conservation, 9(3): 73-92.. (In Persian) http://doi.org/20.1001.1.22517480.1399.9.3.5.7

Jahan, M., and Amiri, M.B., 2018 a. Effective factors on water use efficiency in sesame, maize and common bean in response to salicylic acid under deficit irrigation condition. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 28(1): 249-266. (In Persian) http://doi.org/10.29252/jstnar.22.3.373

Jahan, M., and Amiri, M.B., 2018 b. Determining the effective factors in water use efficiency (WUE) of common bean

(*Phaseolus vulgaris* L.), sesame (*Sesamum indicum* L.) and maize (*Zea mays* L.) in response to humic acid application and deficit irrigation. Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources) 22(3): 373-394. (In Persian) http://doi.org/10.29252/jstnar.22.3.373

Jahan, M., Amiri, B., and Noorbakhsh, F., 2017. Evaluation of the increased rates of water super absorbent and humic acid application under deficit irrigation condition on some agroecological characteristics of *Zea mays* using response surface methodology. Iranian Journal of Field Crops Research 14(4): 766-784. (In Persian with English Summary) http://doi.org/10.22067/gsc.v14i4.48347

Jahan, M., Kamayestani, N., and Ranjbar, F., 2013. Assay for applying super absorbent polymer in a low input corn (*Zea mays* L.) production system aimed to reduce drought stress under Mashhad conditions. Journal of Agroecology 5(3): 272-281. (In Persian with English Summary) http://doi.org/10.22067/jag.v5i3.28999

Kalantari, K., 2012. Data Processing and Analysis in Socio-economic Research. Farhang Saba Pub., Tehran. ISBN: 978-964-2935-38-3. pp: 388. (In Persian)

Karimi, A., and Naderi, M., 2007. Yield and water use efficiency of forage corn as influenced superabsorbent polymer application in soils with different textures. Agricultural Research 3: 187-198. (In Persian with English Summary)

Khadem, S.A., Ghalavio, M., Ramroodi, S.R., Mousavi, M.J., and Rezvani-Moghadam, P., 2011. Effect of animal manure and superabsorbent polymer on yield and yield components on corn (*Zea mays* L.). Iranian Journal of Crop Science 42(1): 115-123. (In Persian with English Summary) http://doi.org/20.1001.1.20084811.1390.42.1.12.8

Kang, C., and Wang, C., 2003. Salicylic acid changes activities of H_2O_2 metabolizing enzymes and increase the chilling tolerance of banana seedlings. Environment and Experimental Botany 50(1): 9-15. http://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00109-0

Koocheki, A., and Sarmadnia, G., 2006. Crop Physiology. Mashhad Jahad University Press, Iran. pp. 254-255. (In Persian)

Mansourfar, K., 2012. Advanced Statistical Methods Using Applied Software. University of Tehran Press pp. 253-364. (In Persian)

Mehrabian Moghaddam, N., Arvin, M.J., Khajueenejad, G., and Maghsudi, K., 2011. Effect of salicylic acid on growth and seed and forage yield of maize in conditions of drought stress in farm. Journal of Seed and Plant Production 27: 41-55. (In Persian with English Summary) http://doi.org/10.22092/sppj.2017.110423

Moazzen Ghamsari, B., Akbari, G., Zohorian, M.J., and Nikniaee, A.B., 2010. An Evaluation of growth and yield of forage corn with application of different levels of superabsorbent polymer (Superab A_{200}) and under drought stress. Iranian Journal of Field Crop Science 40 (3): 1-8. (In Persian with English Summary) 20.1001.1.20084811.1388.40.3.1.7

Mohammadipour, E., Golchin, A., Mohammadi, J., Negahdar, N., and Zarchini, M., 2012. Effect of humic acid on yield and quality of marigold (*Calendula officinalis* L.). Annals of Biological Research 3: 5095-5098.

Mohammadzadeh, A., Majnoon Hosseini, N., Moghaddam, H., and Akbari, M., 2012. Effect of drought stress and nitrogen fertilizer levels on physiological characteristics of two red kidney bean genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences 14(3): 294-308. (In Persian with English Summary) http://doi.org/20.1001.1.15625540.1391.14.3.7.2

Morphy, J., and Riley, J.P., 1962. Phosphorus analysis procedure. In: Methods of Soil Analysis: Part II, Chemical and Microbiological Properties. Page, A. L. (Ed). 1982. Second Edition. Madison, Wisconsin USA. pp. 413-427. http://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed

Nazarli, H., Zardashti, M.R., Darvishzadeh, R., and Najafi, S., 2010. The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits on sunflower. Not Science Biology 2: 53-58. https://doi.org/10.15835/nsb244823

Nykanen, V.P.S., Nykanen, A., Puska, M.A., Goulart-Silva, G., and Ruokolainen, J., 2011. Dual-reponsive and super absorbing thermally cross-linked hydrogel based on methacrylate substituted polyphosphazene. Soft Matter 7: 4414-4424. https://doi.org/10.1039/C0SM01000F

Olsen, S.R., and Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. In: Methods of Soil Analysis: Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A.L. (Ed). 1982. Second Edition. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin USA. Agronomy Series 9: 403-411. http://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed

Payeroa, J.O., Tarkalson, D.D., Irmakc, S., Davisond, D., and Petersend, J.L., 2009. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. Agricultural Water Management 96(10): 1387–1397. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.022

Piccolo, A., Nardi, S., and Concheri, G., 1992. Structural characteristics of humic substances as related to nitrate uptake and growth regulation in plant systems. Soil Biology and Biochemistry 24: 373-380. https://doi.org/10.1016/0038-0717(92)90197-6

Raghara, H., and Moosavi, S., 2018. Effect of water deficit stress and application of humic and salicylic acid on physiological traits, yield and yield components of corn. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research 13: 88-101. (In Persian with English Summary) http://doi.org/20.1001.1.76712423.1397.13.50.7.2

Rentato, Y., Ferreira, M.E., Cruz, M.C., and Barbosa, J.C., 2003. Organic matter fraction and soil fertility the influence of liming vermicompost and cattle manure. Bioresource Technology 60: 59-63. http://doi.org/10.1590/S0103-90162003000300021

Rezazadeh, H., Khrasani, S.K., and Haghighi, R.S.A., 2012. Effects of humic acid on decrease of phosphorus usage in forage maize var. KSC_{704} (*Zea mays* L.). Australian Journal of Agricultural Engineering 3: 34-38.

Shaaban, S.H.A., 2009. Humic acid foliar application to minimize soil applied fertilization of surface irrigationed wheat. Agricultural Sciences 5: 207-210.

Shahryari, R., Gurbanov, E., Gadimov, A., and Hassanpanah, D., 2008. Tolerance of 42 bread wheat genotypes to drought stress after anthesis. Pakistan Journal of Biological Sciences 11: 1330-1335. http://doi.org/10.3923/pjbs.2008.1330.1335

Sharif, M., Khattak, R.A., and Sarir, M.S., 2002. Effect of different levels of lignitic coal derived humic acid on growth of maize plants. Plant Analysis 33: 3567-3580. https://doi.org/10.1081/CSS-120015906

Siami, R., Mirshekari, B., Farahvash, F., Rashidi, V., and Tarinejad, A., 2017. The effect of seed priming with salicylic acid and water deficit tension on enzyme activity and yield of grain corn. Crop Physiology Journal 34: 23-35. (In Persian with English Summary) http://doi.org/10.22077/escs.2019.1497.1333

Sidari, M., Attina, E., Francioso, O., Tugnoli, V., and Nardi, S., 2006. Biological activity of humic substances is related to their chemical structure. Soil Science Society of America Journal 71: 75-85. https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0055

Tousi Mojarrad, M., Ghannadha, M.R., Khodarahmi, M., and Shahabi, S., 2005. Factor analysis for seed yield and some wheat characteristics. Journal of Pajouhesh and Sazandegi 66: 9-16. (In Persian with English Summary)

Xie, L., Liu, M., Ni, B., Zhang, X., and Wang, Y., 2011. Slow-release nitrogen and boron fertilizer from a functional superabsorbent formulation based on wheat straw and attapulgite. Chemical Engineering Journal 167: 342-348. https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.12.082

Zeinali, H., Nasrabadi, A., Hoseinzadeh, H., Chougan, R., and Sabokdast, M., 2005. Factor analysis of hybrid varieties of maize. Iranian Journal of Agricultural Science 36: 895-902. (In Persian with English Summary)

Zhong, K., Zheng, X.L., Mao, X.Y., Lin, Z.T., and Jiang, G.B., 2012. Sugarcane bagasse derivative-based superabsorbent containing phosphate rock with water-fertilizer integration. Carbohydrate Polymers 90: 820-826. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.06.006